

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11 N° de publication : 2 639 172
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national : 88 14932

51 Int Cl⁸ : H 05 H 1/48; H 01 T 1/22.

12 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

22 Date de dépôt : 17 novembre 1988.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 20 du 18 mai 1990.

60 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

71 Demandeur(s) : ELECTRICITE DE FRANCE Service Na-
tional. — FR.

72 Inventeur(s) : Hervé Lesueur ; Albin Czernichowski ; Jo-
seph Chapelle.

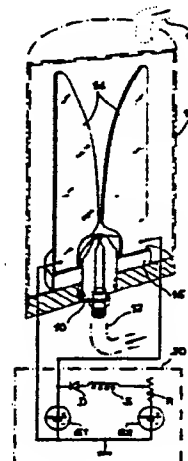
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : Brevatome.

54 Dispositif de génération de plasmas basse température par formation de décharges électriques glissantes.

57 Dispositif de génération de plasmas basse température par formation de décharges glissantes comportant des moyens pour former un jet de gaz, au moins deux électrodes 14 divergentes disposées de manière à ce que le gaz circule le long desdites électrodes en balayant les pieds d'accrochage des décharges et une alimentation électrique 20 délivrant un couple (courant, tension) tel que, à chaque instant et de manière séquentielle, l'amorçage puis l'entretien d'au moins une décharge électrique soient permis entre lesdites électrodes 14; chaque électrode 14 étant reliée à une borne de l'alimentation électrique 20.

Application aux traitements thermiques ou plasmachimiques des fluides notamment à l'électrobrûlage de gaz ou à la dépollution de gaz.



FR 2 639 172 - A1

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

BEST AVAILABLE COPY

DISPOSITIF DE GENERATION DE PLASMAS BASSE TEMPERATURE
PAR FORMATION DE DECHARGES ELECTRIQUES GLISSANTES.

Description

La présente invention a pour objet un dispositif de formation de décharges électriques glissantes. Elle s'applique aux traitements thermiques ou à la plasmachimie des fluides, notamment à l'électrobrûlage ou à la dépollution de gaz.

La dissipation d'énergie électrique dans une flamme en vue d'obtenir une élévation de température des produits de la combustion dans un écoulement gazeux est un procédé connu depuis fort longtemps. On trouve des descriptions de ce procédé et des dispositifs pour sa mise en oeuvre dans le document FR-A-1 293 330 par exemple.

Dans d'autres cas, on recherche seulement une réaction chimique et non la récupération du maximum d'énergie thermique. On fait alors jaillir une décharge ou un arc électrique dans un gaz (souvent en écoulement supersonique) pour provoquer la transformation chimique du gaz ou mélange de gaz.

On trouve une description d'un tel procédé et d'un dispositif pour sa mise en oeuvre dans le document FR-1 593 006 et dans son certificat d'addition publié sous le numéro 2 045 548, ou encore dans les documents FR-1 319 458 et FR-1 281 883.

Les dispositifs connus comportent une tuyère supersonique convergente-divergente dans laquelle circule un gaz. Une électrode est placée axialement dans la tuyère qui constitue la contre-électrode. L'initiation de l'arc s'effectue à l'intérieur de la tuyère entre l'électrode centrale et la contre-électrode, toutes deux reliées à un générateur d'énergie électrique (le gaz est parfois préionisé de manière à favoriser l'amorçage de l'arc).

L'arc est alors allongé par soufflage en restant accroché aux électrodes en section de sortie de la tuyère. C'est durant cette phase qu'il y a dissipation de l'énergie électrique dans le gaz.

L'action cumulée de l'usure des électrodes au niveau des pieds d'arc et de leur corrosion par les gaz réactifs limite la durée de vie ainsi que l'efficacité de tels dispositifs.

Les électrodes s'usent par érosion aux points d'accrochage des arcs principalement en raison des fortes intensités des courants électriques. Afin de limiter cette détérioration, les auteurs du document FR-2 577 304 préconisent de faire circuler par des moyens magnétiques, le pied d'arc autour de l'axe principal le long d'une contre-électrode de forme circulaire. Dans cette configuration, le point d'accrochage sur l'électrode centrale est malgré tout fixe, et cette dernière peut se dégrader rapidement notamment en atmosphère oxydante.

La présente invention pallie cet inconvénient. Elle permet d'éviter une usure et une corrosion excessives des électrodes.

Pour cela, elle préconise le déplacement par soufflage des décharges électriques le long des électrodes spécialement conçues: ce déplacement forcé et à grande vitesse de tous les points d'accrochage permet d'atteindre le but fixé.

De façon plus précise, l'invention concerne un dispositif de formation de décharges électriques glissantes. Ce dispositif comporte des moyens pour former un jet de gaz, ainsi que, placées le long du jet, au moins deux électrodes divergentes. Une alimentation électrique est reliée auxdites électrodes et délivre un couple (tension, courant) maîtrisé

tel que ce couple permette en permanence, de manière séquentielle, l'amorçage puis l'entretien et le contrôle d'au moins une décharge entre lesdites électrodes.

5 Les points d'accrochage des décharges initiées entre les électrodes glissent sur ces dernières dans le sens de l'écoulement gazeux depuis le point où la distance entre les électrodes est minimum vers les extrémités aval des électrodes sans toutefois les atteindre.

10 Le mouvement de glissement de la décharge ainsi que les allongements par soufflage et par accroissement de la distance inter-électrode, interdisent l'établissement d'un régime d'arc

15 stationnaire et permettent la rupture du conducteur gazeux lorsque la résistance électrique de ce conducteur devient incompatible avec la caractéristique (courant/tension) du générateur électrique ou lorsqu'une autre décharge s'initie

20 en amont. On peut ainsi contrôler le transfert d'énergie d'origine électrique au gaz.

Ce dispositif peut fonctionner avec des alimentations électriques continues ou alternatives monophasées ou polyphasées. Le nombre des électrodes est bien entendu conditionné par le choix du type de générateur. Ainsi, par exemple, on peut avoir deux électrodes alimentées en continu ou en alternatif monophasé, trois électrodes pour le triphasé, etc...

25 La formation du jet de gaz, sa vitesse d'éjection, son angle de divergence et le débit dépendent des moyens utilisés pour former le jet. Ces moyens peuvent être des buses adaptées pour chaque type d'utilisation du dispositif.

30 La loi de variation des distances inter-électrode est choisie en fonction de la nature

de l'application (chauffage, chimie...). La seule contrainte concernant cette loi de variation est de ne pas avoir le long des électrodes de zone mal balayée par le gaz (décrochement, cavitation, recirculation...) qui autoriserait la fixation d'un pied d'arc. Tous les profils aérodynamiques (NACA par exemple) peuvent convenir. Le choix plus précis dépend bien entendu de l'expérimentation. En première approximation un profil mince elliptique

10 convient parfaitement. Les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux après la description qui suit, donnée à titre explicatif et nullement limitatif. Cette description se réfère à des dessins annexés, sur lesquels :

la figure 1 représente schématiquement un dispositif selon l'invention, la figure 2 représente schématiquement une variante de réalisation d'un dispositif selon l'invention, la figure 3 représente schématiquement quatre oscillogrammes expérimentaux donnant les variations simultanées du courant et de la tension en fonction du temps mesuré aux bornes d'un dispositif conforme à la figure 1 et pour quatre jeux de paramètres.

25 Conformément à l'invention, le gaz à traiter est également gaz de soufflage et entraîne la décharge initiée entre les électrodes. Les pieds de la décharge glissent sur le profil des électrodes comme sur un rail de guidage. Les points d'accrochage des 30 décharges sont mobiles; ce qui favorise la tenue des matériaux vis-à-vis de l'usure ou de la corrosion des électrodes.

La figure 1 représente un premier mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention. 35 Les moyens pour former un jet de gaz consistent,

par exemple, en une buse 10 reliée à une canalisation 12 d'alimentation en gaz. Cette canalisation 12 est reliée à un circuit pneumatique (non représenté) qui délivre le gaz à traiter sous une pression de 2 à 5 bars par exemple. Les débits étant alors typiquement de 1 à 20 m³/h rapportés à la pression atmosphérique (Nm³/h = normaux m³/h). La nature du gaz peut être très variée : air, argon, azote, oxygène, gaz carbonique (CO₂), méthane (CH₄, gaz naturel), mélanges de gaz avec ou sans particules liquides ou solides en suspension, etc. Bien évidemment la liste des mélanges utilisables ne se limite pas à cette énumération.

Les électrodes 14 sont fixées sur un support 15 isolant 16 qui maintient aussi la buse 10.

Dans cet exemple de réalisation, les électrodes métalliques 14 sont au nombre de deux. Le dispositif représenté sur la figure 1 peut donc être alimenté par une tension continue ou alternative 20 monophasée.

Les électrodes 14 sont fixées en vis-à-vis de part et d'autre et à égale distance de l'axe du jet de manière à ce qu'au moins leur profil (partie dirigée vers l'axe de l'écoulement qui sert de piste 25 aux points d'accrochage des décharges) soit balayé par l'écoulement issu de la buse 10.

Le profil est un profil aérodynamique défini en fonction des applications. Les électrodes 14 sont divergentes ; c'est-à-dire qu'elles vont 30 en s'écartant l'une de l'autre depuis l'endroit proche de la buse où la distance inter-électrode est la plus faible jusqu'à leur extrémité terminale (qui ne doit jamais être atteinte par les décharges).

L'écartement minimum entre les électrodes 35 est de l'ordre de 1 mm alors que l'écartement maximum

au niveau des extrémités est de l'ordre de 150 à 200 mm pour une application utilisant l'air ou le gaz naturel comme gaz plasmagène.

La longueur du parcours de la décharge le long des électrodes peut être dans ce cas de 150 à 200 mm alors que la longueur maximale du conducteur gazeux, dont la forme est courbe en raison du phénomène de soufflage, est comprise entre 100 et 150 mm.

Une décharge électrique est initiée entre les électrodes 14 soumises à une différence de potentiel adéquate.

Cette différence de potentiel est fonction de l'écartement inter-électrode minimum, du débit 15 et de la nature du gaz à cet endroit. Pour un écartement de 1 mm et pour un débit de gaz naturel de 2 à 4 Nm³/h (en jet libre dans l'air) elle vaut entre 4000 et 4500 V (comme on peut le constater sur les oscillogrammes de la figure 3).

20 Les points d'accrochage de la décharge produite glissent le long des électrodes à une vitesse proche de celle du gaz à proximité des électrodes. Durant cette propagation, la décharge tend vers le régime d'arc.

25 La décharge se propage jusqu'à sa coupure qui se produit soit lorsqu'un allongement supplémentaire du conducteur gazeux imposerait une tension trop élevée vis-à-vis des caractéristiques courant/tension du générateur soit lorsque la tension 30 aux bornes des électrodes (et donc du générateur) devient suffisante pour initier une nouvelle décharge et ainsi abaisser brutalement la différence de potentiel entre les électrodes et provoquer la rupture. Dans les deux cas, une nouvelle décharge 35 prend naissance. Bien évidemment, la tension maximale

que peut délivrer l'alimentation 20 connectée aux électrodes 14 est supérieure à la différence de potentiel nécessaire à l'initiation des décharges.

Pour une géométrie (profil des électrodes, 5 distances inter-électrode minimum, etc.) donnée, la tension de coupure dépend directement du débit et de la nature du gaz qui conditionnent la propagation et l'allongement des décharges entre les électrodes. En effet, en dehors des aspects aérodynamiques bien 10 compréhensibles, les phénomènes physiques et chimiques (dissociations, recombinaisons, ionisations, réactions chimiques, etc.) influencent les caractéristiques du conducteur gazeux (dimensions, résistivité, etc.).

Ainsi, en agissant sur les conditions 15 d'alimentation en gaz et électrique, on peut contrôler les évolutions des décharges et donc la répartition, tant en valeur moyennes qu'en valeur instantanée, de l'énergie électrique transmise au gaz.

De même pour des conditions d'alimentation 20 fixées, on peut, en agissant sur la géométrie, contrôler le transfert d'énergie. Ainsi, par exemple, en diminuant la distance minimum inter-électrode, on favorise l'initiation des décharges à des tensions plus faibles. On limite ainsi la propagation des 25 décharges qui alors se succèdent à une fréquence plus élevée.

A un instant donné, il existe au moins une décharge glissant le long des électrodes 14. L'une disparaît lorsque l'autre est initiée. On 30 obtient donc, même avec une alimentation 20 continue, un fonctionnement pulsé. La fréquence moyenne à laquelle peuvent se succéder les décharges peut varier de pratiquement 0 Hz (débit de gaz nul) à plusieurs KHz en agissant sur les divers paramètres 35 déjà évoqués.

Soit que le gaz de soufflage plasmagène utilisé est dangereux ou corrosif, soit que l'on désire contrôler l'atmosphère ambiante, il est possible de placer la buse 10 et les électrodes 5 et 14 dans une enceinte de confinement 18. Les gaz produits sont alors évacués par la canalisation 19 reliée au circuit pneumatique. Seule une partie significative de l'enceinte 18 est représentée en figure 1. La figure 2 illustre les autres aspects de l'invention. A titre d'exemple, l'alimentation 20 est continue, développée pour cette invention est représentée sur la figure 11. Deux générateurs G1 et G2 sont branchés en parallèle aux bornes des électrodes 14. Le générateur G1 délivre la tension nécessaire à l'initiation des décharges (60 à 5000 V) pour un courant limité à 100 mA. Le générateur G2 délivre la puissance nécessaire à l'entretien de la décharge lors de sa propagation. Les tensions et courants peuvent être limités à des valeurs comprises entre 0 et 800 V pour la tension et 0 et 60 A pour le courant. Une résistance R réglable entre 0 et 25 Ohms par exemple et self-inductance S de 25 mH par exemple sont branchées en série entre la borne positive du générateur G2 et l'électrode 14 qui lui est raccordée afin de limiter d'une part la composante continue et d'autre part les variations du courant. D'autres technologies peuvent être envisagées pour contrôler le courant. De plus, une diode D de découplage et protection est placée en série avec la résistance R et l'inductance S afin de protéger G2 vis-à-vis de la tension délivrée par G1. La diode D ne devient passante que lorsque la tension aux bornes des

électrodes est inférieure ou égale à la tension mesurée aux bornes du générateur G2 (juste après l'initiation d'une décharge).

Le contrôle du courant par la résistance R et l'inductance S permet de maintenir le régime de décharge en deçà du régime d'arc. Le régime d'arc qui est principalement caractérisé par un fort courant pour de relativement faibles tensions, n'est pas favorable au bon fonctionnement du dispositif. Outre les conséquences sur la tenue des matériaux des électrodes, le régime d'arc est à l'origine d'une forte thermalisation du milieu, ce qui n'est pas la vocation du dispositif qui permet par exemple en dosant au plus juste l'énergie électrique transmise au gaz d'agir de façon sélective sur le gaz à traiter.

Les bornes négatives des générateurs G1 et G2 sont reliées entre elles et constituent la borne négative de l'alimentation 20 qui est reliée à l'une des électrodes 14. L'autre électrode 14 est connectée à la borne positive de l'alimentation 20 qui est constituée par la borne positive du générateur G2 reliée à la diode D.

L'alimentation 20 décrite ci-dessus délivre des tensions continues mais on peut tout aussi bien envisager le montage d'une alimentation alternative.

La figure 2 représente schématiquement un dispositif conforme à l'invention utilisant une alimentation 20 délivrant une tension alternative triphasée. Dans ce cas, on utilise trois électrodes 14 fixées à un support 16 isolant qui maintient également la buse 10 reliée à la canalisation 12 d'alimentation en gaz (symbolisée par une flèche en trait gras). Les électrodes divergentes 14 sont disposées régulièrement autour de l'axe du jet délivré

par la buse 10. Elles sont séparées d'un angle de $2\pi/3$ rad.

Dans cet exemple de réalisation, les électrodes 14 sont tubulaires. Le fluide plasmagène (symbolisé par des flèches en trait fin) peut alors, en parcourant des électrodes, être préchauffé avant d'être injecté par la buse 10.

Dans ce cas, les trois électrodes 14 sont connectées aux trois bornes de l'alimentation triphasée.

D'une manière générale, le montage de plus de deux électrodes donne la possibilité d'engendrer simultanément plusieurs décharges entre les électrodes 14.

La puissance électrique dissipable dans l'air par un tel dispositif triphasé, peut atteindre 10 kW par Nm^3/h d'air injecté.

La figure 3 représente schématiquement quatre oscillogrammes obtenus expérimentalement pour une électroflamme de gaz naturel (méthane) injecté par la buse 10 en jet libre dans un dispositif comme représenté en figure 1 et dépourvu d'enceinte de confinement.

Chaque oscillogramme représente le courant (en trait plein) et la tension (en trait tireté) exprimés en fonction du temps et mesurés aux bornes des électrodes 14.

Bien évidemment, ces oscillogrammes ne sont présentés qu'à titre d'illustration et ne limitent en rien les caractéristiques d'un dispositif selon l'invention.

Pour les quatre graphiques, la base de temps (abscisses) est de 20 ms/division ; la variation du courant (courbes en trait plein) autour de la valeur moyenne est de 40 mA/division (le zéro de

courant n'est pas visible sur les graphiques) et la variation de tension (en trait tireté) est de 1 000 V/division. Le minimum de tension correspond au 0 V.

5 La vitesse moyenne de déplacement des pieds d'arc déduite des oscillogrammes est de quelques m/s et correspond aux vitesses mesurables à la partie périphérique du jet où sont situées les électrodes.

Les fluctuations de tension observables sur 100 sont accentuées par les réactions de l'inductance lors des déplacements des pieds de décharge qui s'effectuent par sauts successifs d'un emplacement à l'autre. En contrepartie, le courant est stabilisé par l'action de l'inductance et oscille que de quelques centaines de mA autour de sa valeur moyenne.

Le dispositif selon l'invention autorise donc la mise en oeuvre de décharges électriques dans tous les milieux gazeux, fonctionnant avec des tensions moyennes élevées et des courants moyens modérés. Le dispositif conforme à l'invention présente en outre l'avantage d'une flexibilité d'emploi liée à sa grande simplicité.

Revendications

1. Dispositif de génération de plasmas basse température, par formation de décharges électriques glissantes comportant des moyens pour former un jet de gaz, caractérisé en ce qu'il comprend :

- au moins deux électrodes (14) divergentes disposées de manière à ce que le gaz circule le long des électrodes ;

- une alimentation électrique (20) adaptée au nombre d'électrodes (14), délivrant un couple (courant, tension) tel que, de manière permanente, l'amorçage puis l'entretien d'au moins une décharge soient permis entre lesdites électrodes (14) ; chaque électrode (14) étant reliée à une borne de l'alimentation électrique.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la forme des électrodes (14) constitue un profil aérodynamique balayé par le gaz dans le sens de déplacement des pieds de décharge, et de former adéquate pour que les pieds d'arc n'atteignent jamais leurs extrémités.

3. Dispositif selon les revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'un fluide caloporteur peut circuler à l'intérieur des électrodes.

25

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les moyens pour former le jet de gaz et les électrodes (14) peuvent être contenus dans une enceinte (18).

1/4

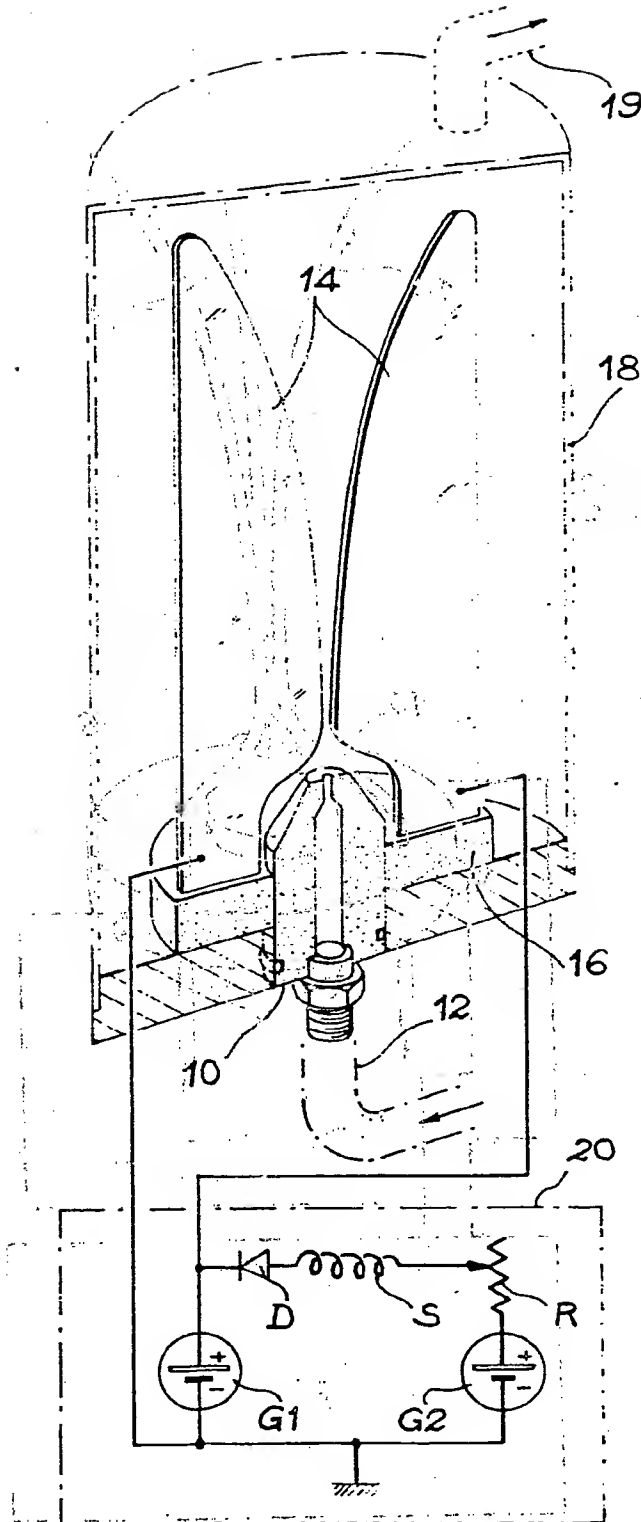
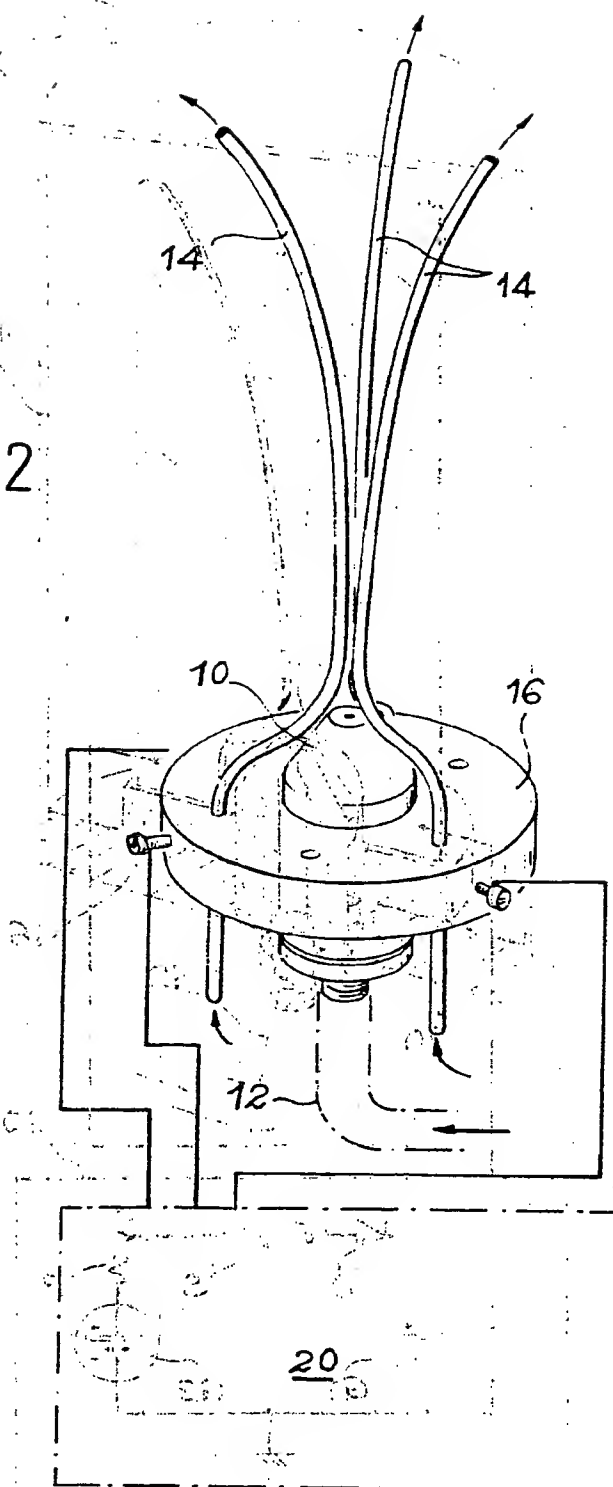


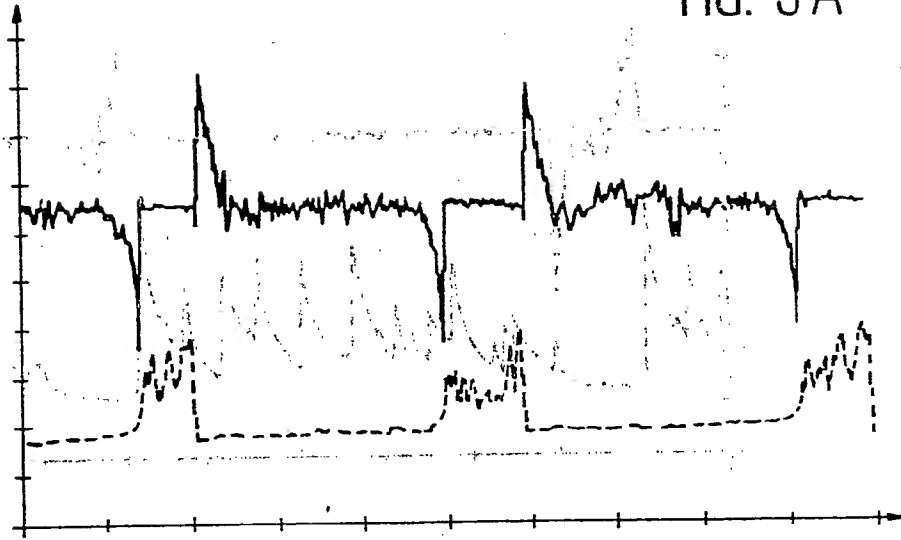
FIG. 1

FIG. 2



36 27

FIG. 3A



60 08

FIG. 3B

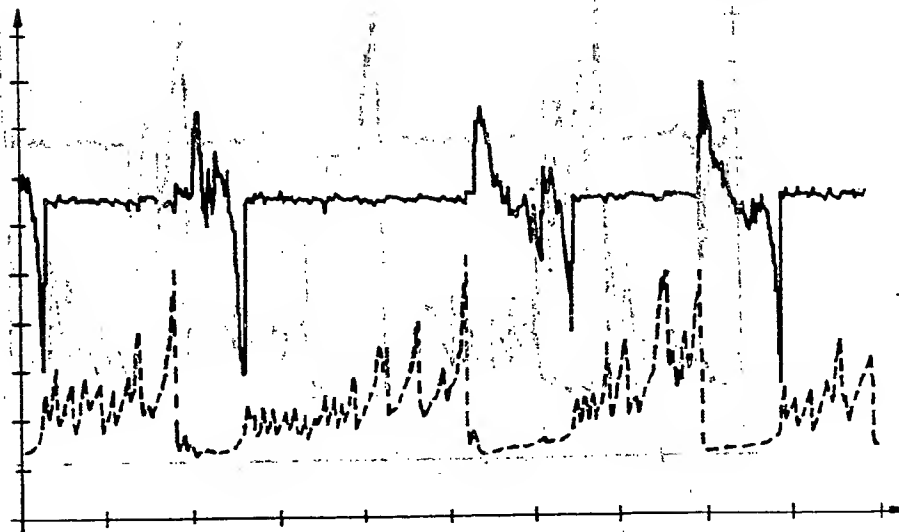


FIG. 3C

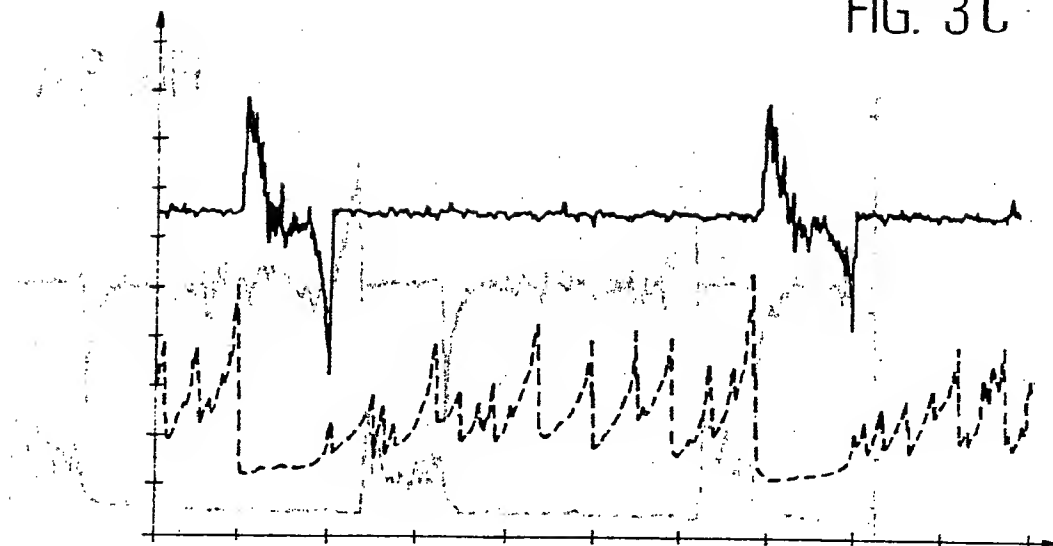
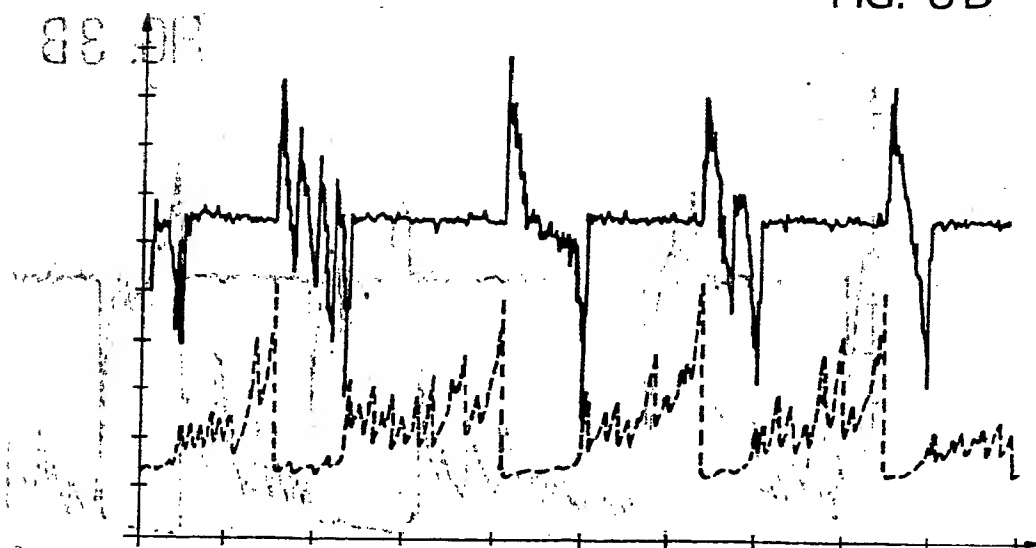


FIG. 3D



THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)